dr inż. Lech Stolecki [1)]

Recenzent: dr hab. inż. Witold Pytel

Badania rozkładów parametrów drgań generowanych wstrząsami górniczymi w kopalniach LGOM

Słowa kluczowe – wstrząsy górnicze, oddziaływania dynamiczne drgań

Streszczenie
W artykule zaprezentowano badania dotyczące zależności pomiędzy poziomem oddziaływań wstrząsów górniczych na powierzchni terenu i danymi sejsmicznymi określonych dla analizowanych zjawisk. W tym celu analizowano różnicę w poziomach rejestracji przyspieszenia i prędkości drgań odnotowanych na powierzchni terenu dla zjawisk o zbliżonych energiach sejsmicznych zlokalizowanych w tym samym polu eksploatacyjnym. W zrealizowanych analizach porównawczych uwzględniono budowę geologiczną górotworu, zaburzenia tektoniczne w rejonie epicentrum wstrząsu oraz warunki górnicze i systemy prowadzonej eksploatacji.

Wstęp

Podziemna eksploatacja rud miedzi w LGOM powoduje naruszenie naturalnego stanu równowagi w utworach skalnych. Przejawem tego procesu są rejestrowane wstrząsy górnicze, którym towarzyszy zjawisko wyzwalania drgań sejsmicznych rozprzestrzeniających się od źródła wstrząsu we wszystkich kierunkach w górotworze. Generowane wstrząsami górniczymi drgania emitowane w postaci fal oddziałują dynamicznie na istniejącą infrastrukturę zabudowy powierzchni terenu. Intensywność fali, wyrażona jako oddziaływanie amplitudy przyspieszenia lub prędkości drgań wstrząsu górniczego na zabudowę powierzchni terenu, może, działając na budowle naziemne, powodować ich uszkodzenia. Problem oddziaływania dynamicznego wstrząsów górniczych na obiekty budownictwa górniczego i powierzchnię terenu jest złożony. Wynika to przede wszystkim z faktu zróżnicowanej budowy geologicznej górotworu, zróżnicowanego stanu technicznego obiektów, charakteru ich powiązania z otaczającym konstrukcję górotworem, jak również od samego charakteru wstrząsu sejsmicznego.

Celem artykułu jest zaprezentowanie zależności pomiędzy parametrami charakteryzującymi wstrząs górniczy (energia sejsmiczna, odległość epicentralna) a obserwowanymi oddziaływaniami drgań na powierzchni terenu. Wykonywane przez KGHM CUPRUM CBR analizy rozprzestrzeniania drgań na powierzchni terenu wykazują istnienie dużych niejednorodności w rozkładach parametrów opisujących intensywność drgań gruntu. W niektórych przypadkach uzyskuje się duże rozbieżności w poziomach oddziaływań ge-

[1)] *KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, ul. gen. Wł. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław*

nerowanych wstrząsami, o tych samych parametrach, zlokalizowanymi w tym samym polu eksploatacyjnym.

1. Charakterystyka analizowanego zbioru danych

Celem scharakteryzowania zależności pomiędzy parametrami wstrząsu górniczego a rzeczywistymi oddziaływaniami drgań na powierzchnię terenu wyselekcjonowano zbiór danych, na który składały się rejestracje z powierzchniowych stanowisk sejsmicznych rozmieszczonych na obszarach górniczych kopalń rud miedzi.

Tabela 1

Analizowane wstrząsy górnicze

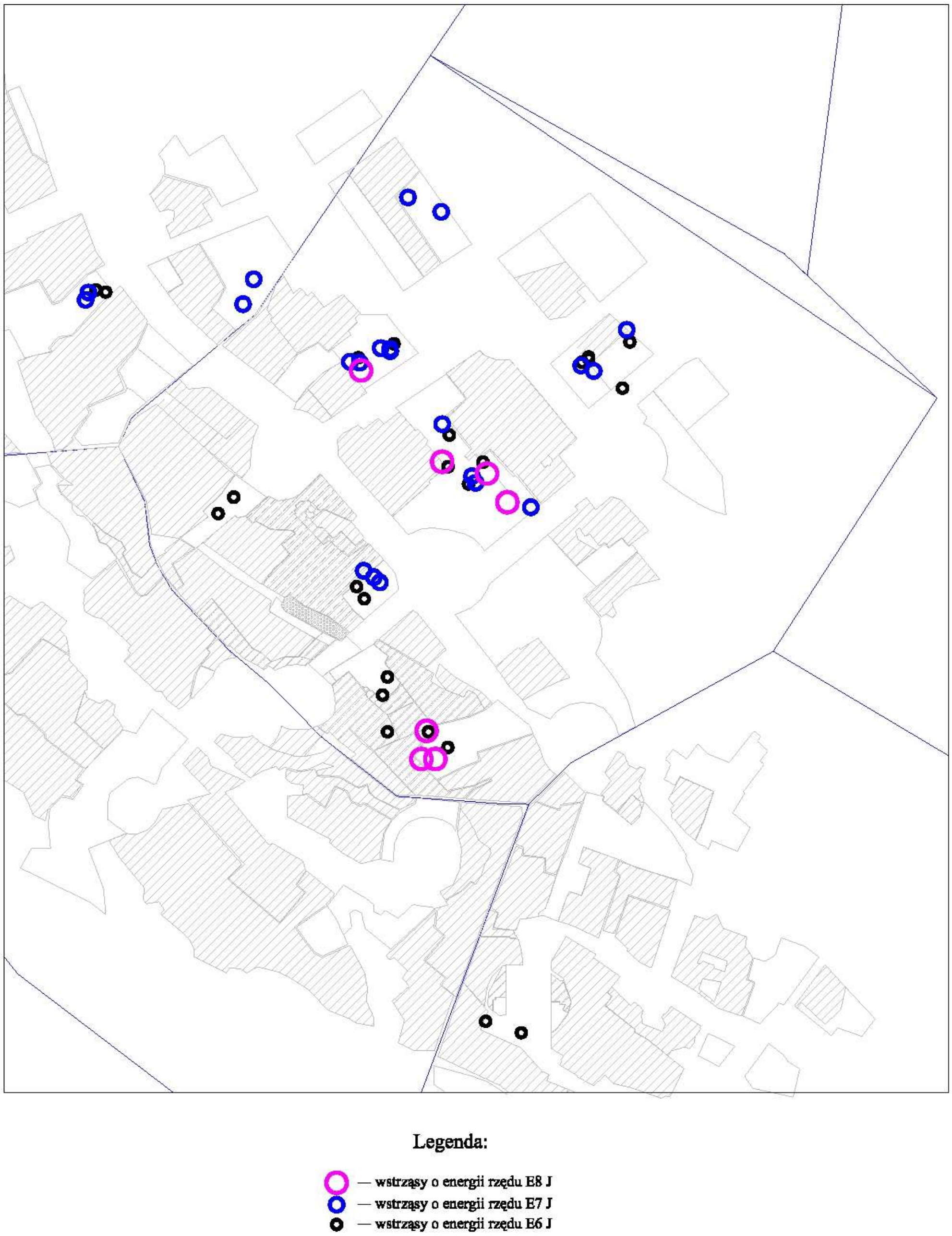
Lp	Data	Czas	Pole	Eng.	X	Y
1.	2006-04-08	8:42	XVII/1	7,6E+06	5709755	5577364
2.	2006-07-04	18:09	G-1/7	2,5E+07	5708169	5575620
3.	2006-07-29	9:33	G-7/5	2,3E+08	5705422	5576669
4.	2006-09-11	11:43	XVII/1	2,1E+07	5709549	5577203
5.	2007-01-12	7:37	G-15/10	2,5E+06	5709004	5573492
6.	2007-01-22	11:23	G-1/7	2,7E+06	5707938	5575517
7.	2007-03-15	17:35	XVII/1	1,0E+08	5709588	5577424
8.	2007-05-03	11:53	XVI/1	3,8E+06	5709690	5576855
9.	2007-06-09	17:53	XVI/1	7,6E+06	5710151	5576872
10.	2007-06-15	20:28	XVII/1	4,9E+06	5709437	5577153
11.	2007-08-11	21:10	G-1/7	2,8E+06	5707761	5575629
12.	2007-08-15	10:03	G-7/5	1,1E+08	5705833	5576540
13.	2007-08-24	17:32	G-12/7	5,4E+07	brak	brak
14.	2007-08-26	14:03	G-1/7	1,5E+07	5708076	5575768
15.	2007-10-05	4:49	G-6/7	1,3E+06	5711267	5578909
16.	2007-11-29	14:07	G7-LZ/1-4	5,9E+06	5701426	5577925
17.	2007-12-09	2:21	G-41F	1,4E+07	5712123	5571554
18.	2007-12-13	15:52	XVII/1	5,1E+07	5709097	5578064
19.	2007-12-29	2:43	G-12/7	2,7E+07	5711207	5575564
20.	2008-01-19	05:52	G-41F	4,6E+07	5712231	5571596
21.	2008-02-27	06:22	G-12/8	2,7E+07	brak	brak
22.	2008-03-10	02:12	G-3/4	4,7E+06	5706355	5575897
23.	2008-04-01	01:21	G-12/7	9,4E+06	5711279	5575541
24.	2008-04-19	17:50	G-1/7	1,2E+07	5708001	5575856
25.	2008-04-21	00:17	G-6/7	1,1E+06	5710835	5579404
26.	2008-04-30	22:43	G7-LZ/1-4	3,0E+06	5701594	5577403
27.	2008-06-13	06:13	XVI/1	1,1E+08	5709761	5576767
28.	2008-06-17	19:58	XVII/1	2,6E+07	5709453	5577257
29.	2008-07-23	18:16	G-11/8	6,7E+07	brak	brak
30.	2008-08-15	00:47	G-12/8	2,5E+07	5711406	5576007

Tabela 1 c.d.

31.	2008-09-25	05:50	G-7/5	8,0E+06	brak	brak
32.	2008-10-07	17:47	G-3/4	8,3E+06	brak	brak
33.	2008-10-29	03:30	G-54D2E	6,1E+07	5712060	5573857
34.	2009-01-11	11:53	G-12/7	2,4E+08	5711093	5575582
35.	2009-01-11	12:17	G-12/8	9,0E+06	5711483	5576063
36.	2009-05-27	18:52	G-12/8	2,3E+07	5711375	5576010
37.	2009-06-04	15:32	G-6/7	2,5E+06	5711509	5579513
38.	2009-09-05	20:07	G-12/8	8,2E+06	5711372	5576066
39.	2009-10-04	13:03	G-41F	7,0E+06	5712237	5571848
40.	2009-11-11	18:20	G-6/7	1,3E+07	5711687	5579466
41.	2010-02-11	19:21	G-15/10	4,6E+06	5709243	5573721
42.	2010-02-20	17:36	G-7/5	1,2E+08	5705421	5576464
43.	2010-04-03	3:36	XVI/1	9,3E+07	5710309	5576768
44.	2010-06-01	1:25	G-41F	3,8E+06	5712267	5571703
45.	2010-06-26	4:47	XX/1	3,1E+07	5711086	5578984
46.	2010-08-30	11:57	G-11/8	4,0E+07	5713409	5576764
47.	2010-09-06	17:51	XX/1	1,5E+06	5711214	5578812
48.	2010-09-22	7:22	G-7/5	8,4E+06	5705591	5576850
49.	2010-09-24	21:27	XX/1	3,5E+06	5711289	5578908
50.	2010-10-07	2:50	G-54DIE	5,8E+07	5712424	5574013
51.	2010-12-18	18:03	XX/1	1,3E+07	5711165	5578800
52.	2010-12-30	9:56	XVII/1	1,5E+08	5709169	5577721

Do analiz rozprzestrzeniania się drgań na powierzchni terenu wykorzystano zbiór liczący 208 rejestracji (generowanych 52 wstrząsami – tabela 1) wypadkowych poziomych (XY) wartości przyspieszenia i prędkości drgań. Przy wyborze zapisów ruchu podłoża, decydującym parametrem klasyfikującym dane zjawisko do dalszych analiz była różnica w poziomie zarejestrowanych parametrów dla wstrząsów o zbliżonych energiach sejsmicznych i odległościach epicentralnych (mierzonych od epicentrum wstrząsu do lokalizacji stanowiska pomiarowego).

Na rysunku 1 zilustrowano lokalizację analizowanych wstrząsów górniczych.



Rys. 1. Lokalizacje analizowanych wstrząsów górniczych

2. Analiza intensywności drgań na powierzchni terenu

Badania zmienności rejestrowanych parametrów drgań na powierzchni terenu zostały wykonane w oparciu o analizy porównawcze wstrząsów górniczych polegające na określeniu wielkości przyspieszenia i prędkości drgań na tych samych stanowiskach dla zjawisk o zbliżonych energiach sejsmicznych. Analizy wykonano oddzielnie dla zjawisk zlokalizowanych w poszczególnych polach eksploatacyjnych. Następnie podjęto próbę skorelowania uzyskanych wielkości z:

a) sytuacją górniczo-geologiczną,
b) systemem eksploatacji,
c) zaburzeniami tektonicznymi.

Wyselekcjonowane zjawiska były analizowane w grupach wstrząsów zawierających się w granicach poszczególnych pól eksploatacyjnych. W pracy analizowano 14 grup/pól eksploatacyjnych zlokalizowanych w trzech kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. (O/ZG Lubin – 1 pole, O/ZR Rudna – 11 pól, O/ZG Polkowice-Sieroszowice – 2 pola). Pola dobrano tak, by różniły się: sytuacją górniczą (początek eksploatacji w danym rejonie kopalni, zaawansowana eksploatacji granicząca ze zrobami starych, wyeksploatowanych pól, końcowa eksploatacja w danym rejonie kopalni, gdzie wyeksploatowano już całe złoże), budową geologiczną (różne miąższości złoża, zróżnicowana miąższość skał węglanowych w stropie złoża), wielkością zaburzeń tektonicznych (niski, średni i wysoki poziom) oraz stosowanymi systemami eksploatacyjnymi.

Analiza porównawcza została wykonana oddzielnie dla każdej wydzielonej grupy wstrząsów (pola eksploatacyjnego). Dla każdej grupy zjawisk wykonano:

- tabele z analizowanymi wstrząsami górniczymi,
- tabele z analizowanymi parametrami przyspieszenia i prędkości drgań,
- rysunek z lokalizacją analizowanych zjawisk oraz stanowisk pomiarowych,
- analizę zachowań parametrów drgań.

Poniżej przedstawiono przykładową analizę rozkładu parametrów drgań dla jednego pola eksploatacyjnego – G-15/10 (tabela 2).

Tabela 2

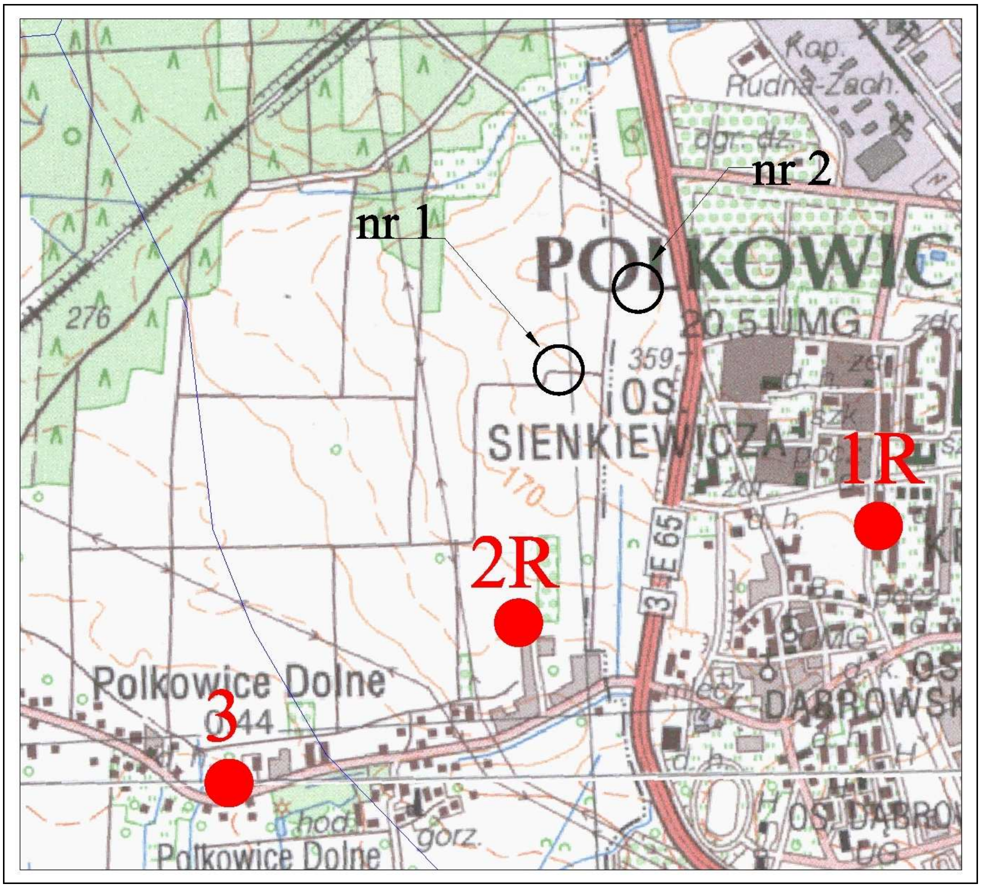
Analizowane wstrząsy w polu G-15/10

Lp	Data	Czas	Pole	Eng.	X	Y
1.	2007-01-12	7:37	G-15/10	2,5E+06	5709004	5573492
2.	2010-02-11	19:21	G-15/10	4,6E+06	5709243	5573721

Tabela 3

Analizowane parametry drgań rejestracji wstrząsów z pola G-15/10

Stanowiska	**Data**	**Czas**	**Pole**	**Eng.**	**Re [m]**	**t_{Ha} [s]**	**PGA_{H10} [m/s^2]**	**PGV_{Hmax} [m/s]**
Polkowice ul. 3-go Maja (1R)	2007-01-12	7:37	G-15/10	2,5E+06	1025	1,8	120	4,0
Polkowice ul. 3-go Maja (1R)	2010-02-11	19:21	G-15/10	4,6E+06	979	3,9	145	4,0
Polkowice ul. Chocianow-ska (3)	2007-01-12	7:37	G-15/10	2,5E+06	1537	3,0	115	4,9
Polkowice ul. Chocianowska (3)	2010-02-11	19:21	G-15/10	4,6E+06	1867	3,9	79	2,3
Polkowice ul. Fiołkowa (2R)	2007-01-12	7:37	G-15/10	2,5E+06	747	2,7	406	9,0
Polkowice ul. Fiołkowa (2R)	2010-02-11	19:21	G-15/10	4,6E+06	1036	3,7	180	4,0



Rys. 2. Lokalizacja stanowisk pomiarowych

Analizowane wstrząsy zostały zarejestrowane w przeciągu 36 miesięcy, a ich lokalizacje obejmują obszar około 170 metrów (rys. 2).

3. Warunki geologiczno-górnicze w polu 15/10

Pole 15/10 charakteryzuje się znacznym zaangażowaniem tektonicznym. Występują tu liczne uskoki, głównie o rozciągłości NW-SE i zrzutach od 0,4 m do 20,0 m. Uskoki te tworzą rowy i zręby tektoniczne. W obszarze złoża występują także liczne, różnie zorientowane spękania, wśród których dominują dwa kierunki NE-SW i NW-SE. Pole to charakteryzuje się wysokim poziomem aktywności sejsmicznej, a w jego rejonie odnotowano kilka wstrząsów górniczych o energii sejsmicznej rzędu E8 J oraz kilkanaście o energii rzędu E7 J. W polu 15/10 stosuje się systemy eksploatacji komorowo-filarowe z ugięciem stropu lub/i podsadzką hydrauliczną, dla warunków upodatnienia i likwidacji filarów oporowych (R-UO/FO) oraz komorowo-filarowe z podsadzką hydrauliczną dla złóż średnich i grubych (J-3S/PH).

Złoże w rejonie pola G-15/10 jest wykształcone w postaci nieregularnego pokładu, który tworzą trzy odmienne litologicznie typy skał: dolomity (dolomit wapnisty, smugowany, ilasty), łupki miedzionośne i szare piaskowce o miąższości od 3,0 m do 5,6 m. Generalnie złoże w tym rejonie charakteryzuje się rozciągłością NW-SE i zapada pod kątem $2° \div 4°$ na kierunku NE. Strop złoża wykształcony jest w postaci dolomitów wapnistych, których średnia miąższość wynosi 38 m. Jest to dolomit beżowy, skrytokrystaliczny, zwięzły, podzielny na płyty o zmiennej miąższości od 0,05 m do 1,1 m. Obserwuje się występowanie licznych gniazd i żyłek anhydrytu. Złoże wykształcone jest w dolomicie wapnistym, dolomicie smugowanym ciemnoszarym oraz dolomicie ilastym. Miąższość bilansowa dolomitów wynosi od 1,2 m do 3,0 m. Występujący w całym rejonie łupek dolomityczno-ilasty (łupek miedzionośny) oraz miejscami smolisty, posiada średnią miąższość 0,3 m. Spąg złoża bilansowego tworzy piaskowiec kwarcowy, drobnoziarnisty, jasnoszary. Charakteryzuje się zmiennym spoiwem w profilu pionowym. W stropowej części piaskowca lepiszcze ilasto-węglanowe przechodzi w spoiwo ilaste. Piaskowiec o spoiwie ilasto-węglanowym w stropowej części jest silnie okruszcowany (od 0,4 m do stropu piaskowca) i jest bardzo zwięzły. Miąższość piaskowca bilansowego jest zmienna i waha się od 0,8 m do 3,0 m. Średnia miąższość piaskowca czerwonego spągowca wynosi 10 m.

4. Analiza parametrów rejestrowanych wstrząsów sejsmicznych

Zarejestrowane parametry drgań na poszczególnych stanowiskach wykazują odmienne rozkłady analizowanych parametrów. Najbliżej zlokalizowanym stanowiskiem w stosunku do wszystkich zjawisk było stanowisko z Pol-

kowic, ul. Fiołkowa (wstrząsy zarejestrowane w odległościach epicentralnych wynoszących 747 metrów i 1036 metrów), na tym stanowisku zarejestrowano także najwyższe parametry drgań oraz największe rozbieżności w poziomie rejestracji. Do analiz wykorzystano wstrząsy o energiach rzędu E6 J. Dla stanowiska z ulicy Fiołkowej zarejestrowane przyspieszenia wyniosły 406 mm/s^2 dla wstrząsu o energii 2,5 E6 J oraz 180 mm/s^2 dla wstrząsu o energii 4,6 E6 J, a prędkości odpowiednio 9,0 mm/s i 4,0 mm/s. Taki sam rozkład zarejestrowanych parametrów odnotowano na stanowisku Polkowice ul. Chocianowska, przy czym poziom uzyskanych rejestracji był znacznie niższy i wynosił odpowiednio dla przyśpieszenia 115 mm/s^2 oraz 79 mm/s^2, a dla prędkości 4,9 mm/s oraz 2,3 mm/s. W przypadku stanowiska Polkowice, ul. 3-go Maja mamy do czynienia z odwrotna sytuacją, gdyż wyższa wartość przyspieszenia – 145 mm/s^2 odnotowano dla zjawiska nr 2, natomiast dla wstrząsu pierwszego odnotowano 120 mm/s^2, natomiast dla parametru prędkości zarejestrowane wartości były takie same dla obu wstrząsów i wynosiły 4,0 mm/s.

Podobne analizy wykonano dla rozkładów parametrów drgań na pozostałych 13 polach eksploatacyjnych. W każdej analizowanej grupie wstrząsów odnotowane różnice pomiędzy maksymalnymi i minimalnymi rejestracjami na tym samym stanowisku były zbliżone lub znacznie większe od odnotowanych wielkości charakterystycznych dla wstrząsów w polu 15/10. Wykonane analizy porównawcze warunków górniczych, geologicznych i zaburzeń tektonicznych pozwalają stwierdzić, że na obecnym etapie badań nie wykazano wpływu tych elementów na występowanie różnic w poziomach rejestracji.

Podsumowanie

Energia sejsmiczna i odległość epicentralna są podstawowymi parametrami wykorzystywanymi do wyznaczania empirycznych zależności stosowanych przy szacowaniu parametrów drgań na powierzchni terenu. Wykonywane badania rejestrowanych parametrów (przyspieszenie i prędkość drgań) wykazały istnienie różnic w poziomach rejestracji, dla zjawisk o zbliżonych parametrach sejsmicznych (En_s, R_e), wynoszących nawet kilkaset procent. Występujące kilkakrotne różnice w poziomach rejestrowanych parametrów drgań znacznie komplikuje statystyczną analizę danych i próby wiarygodnego prognozowania oddziaływań dynamicznych na powierzchni terenu.

W artykule zilustrowano odnotowywane różnice w poziomach rejestrowanych parametrów drgań na powierzchni terenu dla zjawisk zlokalizowanych w polu eksploatacyjnym 15/10 i charakteryzujących się zbliżonymi energiami sejsmicznymi (En_s) i odległościami epicentralnymi (R_e). Zróżnicowanie poziomu rejestrowanych parametrów, charakteryzujące się zbliżonymi lub

większymi poziomami, występowało także na pozostałych 13 badanych polach eksploatacyjnych, w których stwierdzono różnice w sytuacji górniczej, budowie geologicznej, występowaniu zaburzeń tektonicznych oraz stosowanych systemach eksploatacyjnych. W oparciu o przeprowadzone analizy porównawcze można stwierdzić, że warunki geologiczno-górnicze charakteryzujące górotwór w danym rejonie eksploatacji oraz stosowane systemy eksploatacji rud miedzi mają mały wpływ na odnotowywane różnice w poziomach rejestracji.

Na obecnym etapie badań nie uzyskano odpowiedzi, co jest główną przyczyną występujących różnic w poziomach rejestrowanych parametrów drgań, dlatego wydaje się konieczne dalsze kontynuowanie prac. W następnym etapie badań należy skupić się na mechanizmach zachodzących w ognisku wstrząsu i próbach ich korelacji z rejestrowanymi parametrami drgań.

Literatura

[1] Stolecki L, Jaśkiewicz K., Jaśkiewicz I., 2004: Kierunkowość oddziaływania dynamicznego wstrząsów indukowanych działalnością górniczą". XII Warsztaty Górnicze, czerwiec 2008 Baranów Sandomierski

[2] Jaśkiewicz J., Jaśkiewicz I., Stolecki L., 2010: Opracowanie wyników pomiarów drgań gruntu z powierzchniowej sieci sejsmicznej dla stanowisk typu WORS rozlokowanych na terenie górniczym ZG „Rudna" wraz z analizą oddziaływań dynamicznych na lata 2008-2010. Opracowanie KGHM CUPRUM CBR.

Studies on distributions of parameters of vibration generated by mining tremors in the LGOM mines

Key words: mining tremors, dynamic impact of vibration

The paper presents studies on the relationship between the level of mining tremor impacts on the ground surface and seismic data determined for the analyzed events. The difference between acceleration levels and velocity of vibrations recorded on the surface for events with similar seismic energies located in the same mining field was analyzed for this purpose. In the comparative analyses the geological structure of rock mass, tectonic disturbances in epicenter area of tremors as well as mining methods and conditions were taken into consideration.